

# 冷凍パン生地製造条件の検討

久保さつき・水谷 令子・杉本卓也\*

## Investigations of Temperature Conditions on the Freezing Bread Dough Method

Satsuki KUBO, Reiko MIZUTANI and Takuya SUGIMOTO\*

### 要 旨

冷凍パン生地製造時の問題点を解決することを目的とし、パン生地の冷凍・貯蔵・解凍条件について検討を行った。

冷凍は急速冷凍（ $-60^{\circ}\text{C}$ ）、緩慢冷凍（ $-20^{\circ}\text{C}$ ）の2方法、貯蔵は $-40^{\circ}\text{C}$ 貯蔵、 $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵の2方法、解凍は低温解凍（ $5^{\circ}\text{C}$ ）、室温解凍（ $4^{\circ}\text{C}$ ）、高温解凍（ $38^{\circ}\text{C}$ ）の3方法で調製した生地について検討したところ、以下の結果が得られた。

4週間冷凍貯蔵後のパンの比容積は、緩慢冷凍した生地から調製すると著しく小さくなった。また、貯蔵については $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵より $-40^{\circ}\text{C}$ 貯蔵の方が焼き上がったパンの比容積は小さくなった。パン生地は冷凍貯蔵することにより粘着性が増加したが、特に緩慢冷凍生地の粘着性の増加が著しかった。緩慢冷凍した生地から調製したパンでは、破断中にひび割れし、著しくもろくなった。解凍温度の違いによるパンの比容積・パン生地の粘着性への影響はあまり大きくなかった。パン内層の物性は、貯蔵期間が長くなると、室温あるいは高温解凍すると、破断中に組織が崩れ、もろくなった。

これらのことより、冷凍パン生地製造には、急速冷凍、 $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵、低温解凍の方法で調製することが好ましいという結果が得られた。

### 1 緒 言

パンは焼成後時間が経過すると品質が低下するため、高級感のある焼きたてのパンを店頭で焼成することが多くなってきている。しかし、製パン工程は長時間の連続作業を必要とし、温度管理などに熟練を要するので、混捏後の生地を凍結した状態で配送・流通し、必要時に必要な量を解凍・成形・焼成すれば、作業も合理化され、技術の熟練度も大して必要ではなくなる。このような要請に応えるため、冷凍耐性酵母の開発、添加物の利用、貯蔵条件の検討などが進

---

\* 日本油脂株式会社

められている。本研究では、冷凍パン生地製造時の温度管理に注目し、生地の冷凍、貯蔵、解凍の条件について検討した。

## 2 材料と方法

### 2・1 材料

パン酵母はオリエンタル酵母工業株式会社製の冷凍耐性圧搾酵母（菌株名：*Saccharomyces cerevisiae*）FD-1を用いた。パン及びパン生地調製には、日清製粉製強力粉カメラア、市販上白糖、雪印乳業製ショートニング・スキムミルク、市販1級試薬塩化ナトリウムを用いた。水は蒸留水を用いた。

### 2・2 パン及びパン生地調製法

パンの材料配合比率を表1に示した。ショートニング以外の材料をパン捏ね機（カントーミキサーCS-20型）に入れ、低速で2分間、中高速で5分間捏ねた後、ショートニングを加えてさらに低速で2分間、中高速で6分間捏ねた。生地を取り出し、30℃に調整した孵卵器の中に30分間保管し、一次発酵を行った。その後、直ちに生地を250gずつに分割し、ビニール袋に入れて1cmの厚さに延ばし、冷凍・貯蔵・解凍した。解凍後、ローリングして、ベンチタイムを室温で15分間とった。その後、規定量まで二次発酵（38℃、湿度80%）を行い、上火190℃、下火200℃で30分間焼成した。パンの形は山型パンとした。

表1 材料配合比率

強力粉（日清製粉 カメラア）	100
圧搾酵母（オリエンタル FD-1）	2
食塩	2
砂糖	5
スキムミルク	2
ショートニング	5
蒸留水	65

物性測定用のパン生地には、酵母を加えず調製した。混捏等の条件は製パン時と同一とした。

### 2・3 パン生地の冷凍・貯蔵・解凍法

冷凍は、-60℃に1時間と、-20℃に2時間静置する2方法で行った。-60℃冷凍を急速冷凍、-20℃冷凍を緩慢冷凍とした。

貯蔵は、-40℃と-20℃の2方法で行った。

解凍は、5℃で16時間、24℃で3時間と38℃で1時間の3方法で行った。5℃解凍を低温解凍、24℃解凍を室温解凍、38℃解凍を高温解凍とした。低温解凍の場合は、さらに、室温に静置し、生地内部温度が13℃になった時点を解凍の終点とした。

冷凍庫は、冷凍・貯蔵温度が-60℃及び-40℃の時は、三洋電機株式会社製超低温フリーザー MDF-192型を、-20℃の時は、日本フリーザー株式会社製バイオフィリーザー GS-3003型を用いた。

#### 2・4 パンの品質評価法

焼成後のパンの品質評価は比容積を測定することにより行った。比容積はパンの重量を容積で割った値であり、パンの評価法として、通常よく使われる方法である。パンの容積は菜種置換法で決めた。

#### 2・5 パン生地の粘着性測定法

パン生地14gを小型シャーレ（内径3.5×1.0cm）にすきまなく詰め、上面をラップで覆い平らにした後、直ちに不動工業株式会社製レオメーター NRM-2002J型を用いて粘着性の測定を行った。プランジャーは直径15mmの円盤型を使用し、荷重80g，試料台速度2cm/minで行った。

#### 2・6 パン内層の破断特性測定法

パン焼成後、1日後、3日後にパン内層の破断特性を測定した。測定用パン切片の調製は、山電株式会社製超音波サンプルカッター UCC-3305型を使用し、4個の山型食パンの中心部からそれぞれ2×4×1.9cmのピース2個ずつ、合計8個を切り出して行った。この試料を、水分が飽和に達したデシケーター内に30分間保管し、測定時の試料の乾燥状態を一定に保った。その後、山電株式会社製クリープメーター レオナー RE-3305型を用いて同一方向から圧縮破断を行った。プランジャーはくさび型（No.49）を使用し、試料台速度1cm/sec，クリアランス2mmで行った。試料の厚さはサンプル厚さ計 HC-3305型で測定し、物性測定結果は山電破断試験ソフトを用いて解析した。

#### 2・7 検定法

得られた測定結果は、平均±標準偏差で表した。また、試料間の有異差検定は、t検定により行った。

### 3 結 果

#### 3・1 生地の冷凍及び貯蔵温度がパン比容積に及ぼす影響

生地の冷凍及び貯蔵条件を組み合わせる急速冷凍・ $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵したものをA群、急速冷凍・ $-40^{\circ}\text{C}$ 貯蔵したものをB群、緩慢冷凍・ $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵したものをC群とした。生地の貯蔵期間は1週間、4週間として、解凍はすべて低温解凍法で行った。

結果を表2に示した。

表2 生地を冷凍及び貯蔵温度がパンの比容積に及ぼす影響

冷凍貯蔵期間 (週)	0	1	4
急速冷凍・ $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵 (A群)	4.41 $\pm$ 0.18	4.39 $\pm$ 0.22	4.12 $\pm$ 0.16
急速冷凍・ $-40^{\circ}\text{C}$ 貯蔵 (B群)		3.98 $\pm$ 0.12 <sup>*</sup>	3.40 $\pm$ 0.08 <sup>*, **</sup>
緩慢冷凍・ $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵 (C群)		3.39 $\pm$ 0.19 <sup>*, **</sup>	3.02 $\pm$ 0.08 <sup>*, **</sup>

表中の数字は、平均 $\pm$ 標準偏差 (n=4)

<sup>\*</sup>: $p<0.01$  (冷凍貯蔵期間0週に対するt検定)

<sup>\*\*</sup>: $p<0.01$  (A群に対するt検定)

A群では、冷凍貯蔵1週間、4週間後の値は冷凍しないものとほとんど変わらず、冷凍による影響が見られなかった。しかし、B群では、冷凍貯蔵期間が長くなるに従い、比容積は低下し、4週間冷凍貯蔵した後では、冷凍しない生地を使ったものの77%であった。C群では、その傾向がさらに顕著となり、4週間冷凍貯蔵後では、冷凍しないものに比べて比容積は約3分の2 (68%) となった。また、冷凍貯蔵したものについて、冷凍期間0週すなわち、生地混捏後貯蔵しないで焼いたパンの比容積の値に対してt検定を行ったところ、B・C群において、1%の危険率で有意差があった。また、A群とB・C群それぞれに対するt検定では、貯蔵1週間でC群と、貯蔵4週間でB・C群との間に、1%の危険率で有意差があった。すなわち、パンの比容積の測定結果から冷凍パン生地調製の条件を判断すると、A群すなわち、生地を急速冷凍・ $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵する方法が最も適当な冷凍貯蔵法であった。

### 3・2 冷凍及び貯蔵温度がパン生地の粘着性に与える影響

パン生地の粘着性測定パターンを図1に示した。このパターンから、粘着性と粘着エネルギーを図2に従い算出し、表3・表4にそれぞれ相対値で示した。

生地の粘着性は、冷凍貯蔵すると、A・B・C群いずれにおいても増加した。貯蔵期間が長くなるほど、その傾向は大きくなった。特にC群において著しく増大し、冷凍1週間で冷凍しないものの2.4倍、冷凍4週間で5.0倍になった。

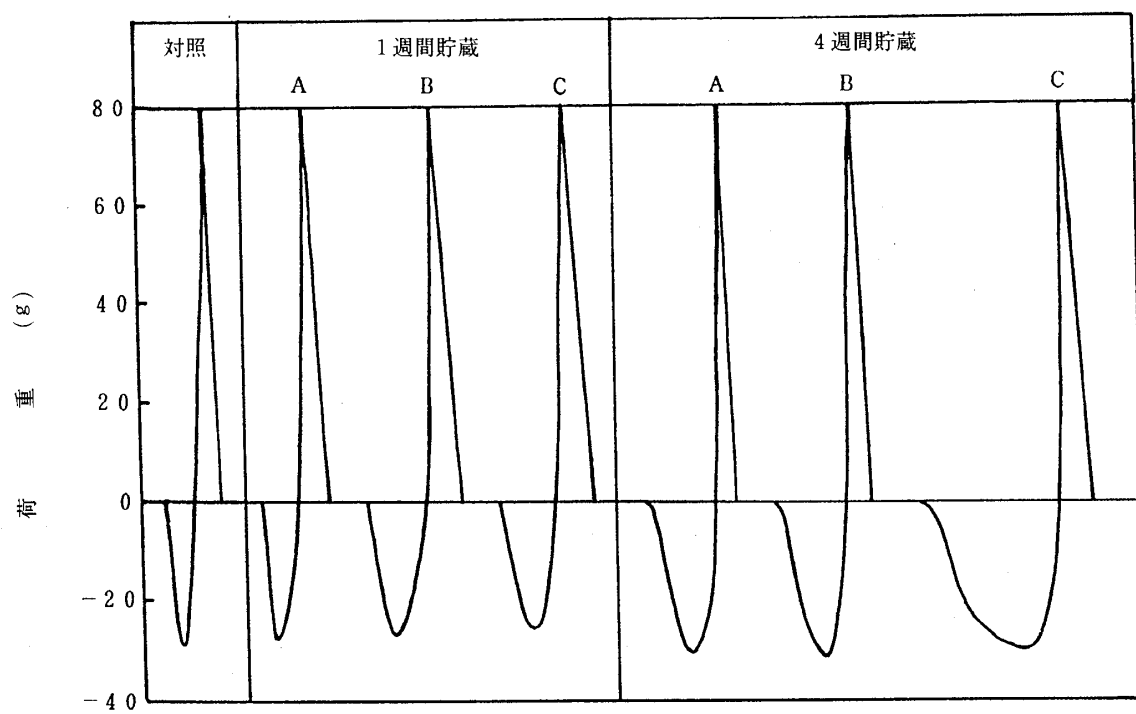


図1 冷凍貯蔵条件が生地の粘着性に及ぼす影響（粘着性測定パターン）

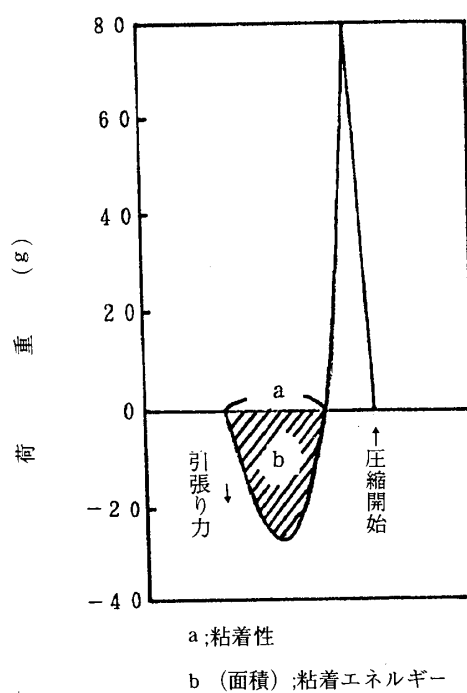


図2 粘着性の算出方法

表3 冷凍及び貯蔵温度が生地の粘着性に及ぼす影響

冷凍貯蔵期間 (週)	0	1	4
急速冷凍・-20℃貯蔵 (A群)	0.78±0.10	0.92±0.17	1.45±0.51 <sup>*</sup>
急速冷凍・-40℃貯蔵 (B群)		1.53±0.27 <sup>*</sup>	1.84±0.35 <sup>*, **</sup>
緩慢冷凍・-20℃貯蔵 (C群)		1.84±0.35 <sup>*, **</sup>	3.89±1.06 <sup>*, **</sup>

表中の数字は、平均±標準偏差 (n=8~10)

\*:p<0.05 (冷凍貯蔵期間0週に対するt検定)

\*\* :p<0.05 (A群に対するt検定)

表4 冷凍及び貯蔵温度が生地の粘着エネルギーに及ぼす影響

冷凍貯蔵期間 (週)	0	1	4
急速冷凍・-20℃貯蔵 (A群)	27.1±3.9	30.2±6.4	56.7±12.7 <sup>*</sup>
急速冷凍・-40℃貯蔵 (B群)		49.8±7.9 <sup>*, **</sup>	63.9±12.5 <sup>*</sup>
緩慢冷凍・-20℃貯蔵 (C群)		55.5±6.2 <sup>*, **</sup>	159.1±41.3 <sup>*, **</sup>

表中の数字は、平均±標準偏差 (n=8~10)

\*:p<0.05 (冷凍貯蔵期間0週に対するt検定)

\*\* :p<0.05 (A群に対するt検定)

粘着エネルギーについても粘着性と同様の結果が得られた。

これら、粘着性及び粘着エネルギーの値について3・1と同様にt検定を行ったところ、冷凍しないものに対してA群の貯蔵1週間以外のすべての場合、5%の危険率で有異差があり、A群に対しては貯蔵1週間でB・C群、貯蔵4週間でC群が5%の危険率で有差異があった。

冷凍すると、パン生地のおねちゃつきが増し、大変扱いにくくなることが経験的に知られているが、これらの数値がそれをよく反映している。しかし、A群では、比較的粘着性、粘着エネルギーの値の増加が抑えられ、冷凍貯蔵による生地の劣化の現象と考えられる粘着性の上昇を抑えることが明らかになった。

### 3・3 生地の冷凍及び貯蔵温度がパン内層の破断特性に与える影響

結果を表5に示した。

冷凍貯蔵しないもの及びA群では、破断応力は、焼成の1日後測定したものより3日後測定したものの値が大きくなり、パンが固くなる老化現象が見られた。しかし、B・C群では、3

日後の値が減少する傾向にあった。特に、C群の貯蔵1週間では1日後の値の60%に、貯蔵4週間では35%にまで低下した。通常、破断応力の値が大きいと固く、小さいときは柔らかいと解釈できる。しかし、C群の場合、物性測定中に試料片はボロボロと内層組織が崩れこわれていき、柔らかいパンとは全く言いがたいものであった。

表5 生地の冷凍及び貯蔵温度がパン内層の破断応力に及ぼす影響

( $\times 10^6$  dyn/cm<sup>2</sup>)

冷凍貯蔵期間 (週)	0		1		4	
焼成後の日数	1日後	3日後	1日後	3日後	1日後	3日後
急速冷凍・-20℃貯蔵 (A群)	3.41±0.27	3.70±0.31	3.27±0.20	5.31±0.41 <sup>*</sup>	3.25±0.55	4.36±1.09
急速冷凍・-40℃貯蔵 (B群)			4.09±0.83 <sup>*</sup>	3.81±0.81 <sup>**</sup>	2.43±0.41 <sup>*</sup>	3.14±0.14 <sup>*</sup>
緩慢冷凍・-20℃貯蔵 (C群)			4.21±0.71 <sup>*</sup>	2.51±0.63 <sup>*, **</sup>	2.65±0.21 <sup>*</sup>	0.94±0.15 <sup>*, **</sup>

表中の数字は平均±標準偏差 (n=8)

\*; p<0.05 (冷凍貯蔵期間0週に対するt検定)

\*\*; p<0.05 (A群に対するt検定)

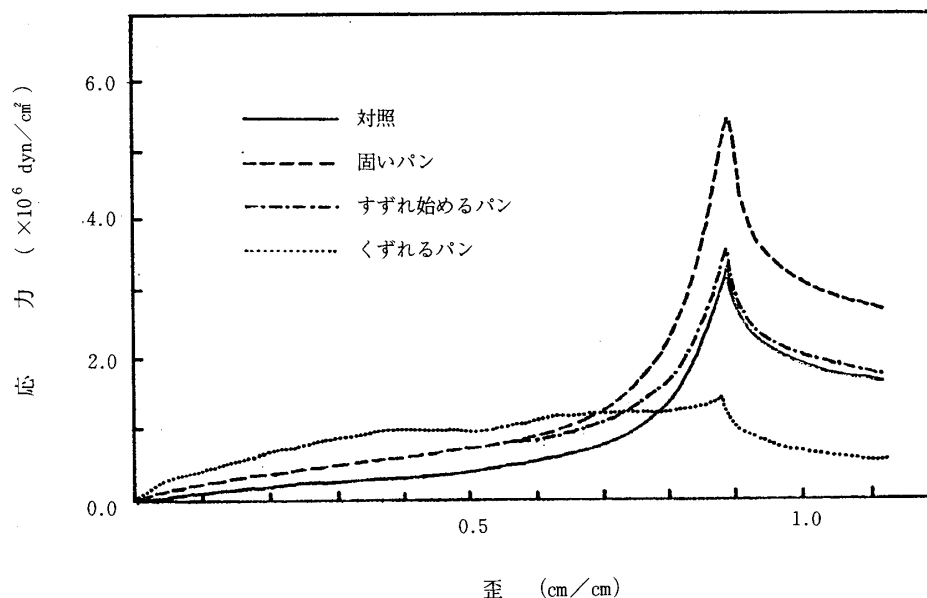


図3 破断応力測定パターン

破断曲線の典型的なパターンを図3に示した。柔らかいもの(対照)は、荷重初期に応力が小さく、ピークに至る直前から急激に増加する。固いものは、同様の傾向にあるが、ピークが高くなる。崩れかけのものは、ピークの高さは柔らかいものとほとんど変わらないが、荷重初

期に応力が少し大きくなる。ボロボロに崩れるものは、荷重初期段階で応力が高くなり、パターンはこの段階で膨らんだものとなる。パンに弾力性はなく、くさび型のプランジャーを支えることができず、ピークは著しく低くなる。C群で破断応力の値が低かったものは、図3のパターンで、点線で示した崩れるタイプであった。すなわち、パン内層の破断応力の測定結果からもA群すなわち、急速冷凍・-20℃貯蔵が最も適当な冷凍貯蔵方法であることがわかった。

### 3・4 生地解冻条件がパン比容積に及ぼす影響

以上の結果より、良質なパンを得る方法として、急速冷凍・-20℃貯蔵が適していることが明らかとなったので、以後の解冻条件の検討では解冻以外は同一条件、すなわち、急速冷凍・-20℃貯蔵で行うこととした。解冻条件は低温解冻をD群、室温解冻をE群、高温解冻をF群とした。

結果を表6に示した。

表6 生地解冻条件がパンの比容積に及ぼす影響

冷凍貯蔵期間 (週)	0	1	4
低温解冻 (D群)	4.35±0.20	4.16±0.11	4.15±0.22
室温解冻 (E群)		4.24±0.15	* 3.93±0.16
高温解冻 (F群)		4.24±0.16	* 3.88±0.17

表中の数字は、平均±標準偏差 (n=4)

\*:p<0.01 (冷凍貯蔵期間0週に対するt検定)

\*\* :p<0.01 (D群に対するt検定)

解冻条件の違いによる差は大きくなかった。しかし、冷凍貯蔵4週間では、わずかではあるが、E・F群で小さな値となった。t検定の結果は、E・F群の貯蔵4週間で冷凍しないものに対して1%の危険率で有意差が認められただけであった。すなわち、冷凍貯蔵期間が短ければ、パンの比容積において、解冻温度はあまり重要ではないが、貯蔵期間が長引く場合には低温解冻が好ましいという結果であった。

### 3・5 解冻条件がパン生地の粘着性に及ぼす影響

結果を表7に示した。



表7 解凍条件が生地の粘着性に及ぼす影響

冷凍貯蔵期間 (週)	0	1	4
低温解凍 (D群)	0.80±1.0	0.92±0.17	0.89±0.10
室温解凍 (E群)		*,** 1.06±0.14	0.92±0.17
高温解凍 (F群)		* 1.03±0.19	0.91±0.12

表中の数字は、平均±標準偏差 (n=8~10)

\*:p<0.05 (冷凍貯蔵期間0週に対するt検定)

\*\*:p<0.05 (D群に対するt検定)

粘着性は、冷凍貯蔵すると、増加傾向にあったが、その変化は、わずかであった。また、解凍条件による差がほとんどなかった。冷凍・貯蔵条件の検討のときに見られた生地管理条件の違いによる著しい差異は見られなかった。

### 3・6 生地の解凍条件がパン内層の物性に及ぼす影響

結果を表8に示した。

表8 生地の解凍条件がパン内層の破断応力に及ぼす影響

(×10 <sup>6</sup> dyn/cm <sup>2</sup> )						
冷凍貯蔵期間(週)	0		1		4	
焼成後の日数	1日後	3日後	1日後	3日後	1日後	3日後
低温解凍 (D群)	3.46±0.23	3.70±0.31	3.94±0.20	*	3.52±0.33	3.79±0.58
室温解凍 (E群)			3.80±0.37	4.09±0.38	*,**	3.51±0.41
高温解凍 (F群)			3.54±0.77	*,**	*	*,**

表中の数字は、平均±標準偏差 (n=8)

\*:p<0.05 (冷凍貯蔵期間0週に対するt検定)

\*\*:p<0.05 (D群に対するt検定)

3・3と同様、焼成の1日後より、3日後の方が破断応力の値が増加し、パンの老化現象が見られた。しかし、F群では、1日後より3日後の方が値が低下した。また、E・F群ではD群に比べて低下した。破断応力が小さいので、一見、柔らかいパンのように思えるが、E群の2.61、F群の3.26、2.62が得られた時の測定途中のパターンは図3の点線のパターンと同じで

あった。すなわち、これらは決して柔らかいパンではなく、測定中にパンの組織が崩れてしまう、もろいパンであった。

以上、解凍条件検討の結果、解凍温度はパンの比容積やパン生地粘着性には影響が小さいが、解凍温度が高いと、パン内層組織がもろくなることが明らかとなった。よって、解凍条件は低温解凍が最も適当であった。

## 4 考 察

冷凍生地製パン法はアメリカで考案され、日本でも広く普及している。この技術の目的は冷凍貯蔵しない場合と同様の品質のパンを得ることであり、より良い製パン条件を求めて研究が行われている<sup>(1, 2)</sup>。特に、パン酵母の冷凍障害に関する研究<sup>(3-9)</sup>や冷凍耐性酵母の開発が活発に行われ<sup>(10-12)</sup>、数多くの冷凍耐性酵母が実用化されている。

冷凍によるパン生地の製パン性低下の原因には、酵母の凍結障害によるものの他に、生地の凍結損傷に起因するものがある。凍結による損傷には、タンパク質の凍結変性、氷結晶の成長に伴うグルテン膜の破損、氷結晶に伴う水和生地成分からの脱水、障害酵母からの還元物質の流出などが考えられている<sup>(2, 13, 14)</sup>。タンパク質の凍結変性は、凍結温度直下の高めの低温で起こりやすいことが認められているが、冷凍生地ではこれによる影響はあまり起こっていないと考えられている。また、冷凍するまでに形成されたグルテン膜が、氷結晶の成長に伴って破られる、ということは考えやすいが、極端に遅い速度での凍結や、高めの低温での長期貯蔵の場合を除いて、この影響も通常は小さいと考えられている。成長する氷結晶によって小麦粉成分水和水の脱水がおこるが、解凍後そのままでは氷結晶に集まった水は元の位置には戻りにくいため、パンの内層品質を損なう原因となりやすい。冷凍パン生地に最も大きな影響を与えるのは、障害酵母から流出する還元型グルタチオンといわれている。冷凍生地はこのような各種要因の影響で、凍結以前に形成された望ましい物性が損なわれる。しかし、その主な原因が障害酵母からの還元性物質であることから、多くの場合酸化剤の添加が行われている。また、パン生地改良剤の添加による効果、解凍後の成形操作の有効性が明らかとなってきている。

今回の研究で、我々は、オリエンタル酵母工業株式会社で開発された冷凍耐性酵母 FD-1 を実験に使用した。よって、酵母の凍結による損傷が、全く無いとは断言できないが、ほとんど無いと考えられる。すなわち、得られた結果は酵母冷凍障害と切り離した、生地そのものの変化によるものと思われる。本実験では、既に述べた、生地を凍結した時に成長する氷結晶による小麦粉成分水和水の脱水の問題を解決するための、最適温度の検討を行ったことになる。実験結果から、我々の行った条件では、急速冷凍、 $-20^{\circ}\text{C}$ 貯蔵、低温解凍が最も好ましいといえる。特に、冷凍は急速に行うことが重要である。貯蔵温度が適正であっても、緩慢冷凍では、生地の粘着性が著しく増加し、できあがったパンは保水性が著しく低下、品質も悪いものであった。これは、生地凍結時に  $0 \sim -5^{\circ}\text{C}$  付近の最大氷結晶生成帯を通過する時間が長くなり、

大きな氷結晶が生地内に生じるため、解凍時に生地組織内に水の分散状態が冷凍する前の状態に戻らないことが原因と考えられる。しかし、上記の最適条件で行っても、冷凍貯蔵しない時のパンと同程度の品質を得ることはできなかった。すなわち、冷凍貯蔵することによる生地の損傷は、冷凍・貯蔵・解凍条件を改善しても回復不可能なものがあることを示唆する結果であった。今後は、生地改良剤としての添加物の効果について検討していきたいと考えている。

最後に、酵母を提供してくださいました、オリエンタル酵母工業株式会社の竹森保夫氏に感謝いたします。同時に実験に協力いただいた本学教員にお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 田中康夫, 中江利昭: 冷凍生地の理論と実験, 食研センター (1982)
- 2) 田中康夫, 松本博共編: 製パンプロセスの科学, p.167, 光琳 (1991)
- 3) K. H. Hsu et al.: *Cereal Chem.*, **56** (5), 419 (1979)
- 4) 安藤正康他: 凍結及び乾燥研究会会誌, **29**, 16 (1983)
- 5) 日野明寛: 化学と生物, **28** (11), 736 (1990)
- 6) 久保さつき, 水谷令子: 鈴鹿短期大学紀要, 第12巻, p.63 (1992)
- 7) 久保さつき, 水谷令子: 鈴鹿短期大学紀要, 第13巻, p.243 (1993)
- 8) 小田有二, 外村健三: 食品工誌, **41** (3), 42 (1994)
- 9) Young-Sook Hahn & Hiroyasu Kawai: *J. Home Econ. Jpn.*, **41** (2), 115 (1990)
- 10) 韓英淑, 河合弘康: *Agric. Biol. Chem.*, **54** (3), 829 (1990)
- 11) 小田有二, 大内弘造: 化学と生物, **29** (4), 258 (1991)
- 12) 河合弘康: 化学と生物, **31** (6), 374 (1993)
- 13) 田中武夫: 最新冷凍食品辞典, p.607, 朝倉書店 (1987)
- 14) 宮脇長人, 矢野俊正: 食品の物性 第16集, p.39, 食品資材研究会 (1991)